



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toni Perälä

# VIRTAMUUNTAJA-LAYOUT

Tekniikka ja liikenne  
2011

## **ALKUSANAT**

Tämä työ on tehty Vaasan ammattikorkeakoulussa tekniikan ja liikenteen yksikössä kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyönä ABB Oy:n Vaasan muuntajatehtaalle.

Työn ohjaajana Vaasan ammattikorkeakoulun puolelta toimi lehtori Juha Hantula. ABB:n puolelta työtä valvoivat suunnittelupäällikkö Toni Koskinen sekä mekaniikkasuunnittelija Kari Salo.

Työn suoritusvaiheessa saamastani tuesta haluan kiittää erityisesti lehtori Juha Hantulaa, mekaniikkasuunnittelijoita Kari Saloa ja Petri Heikkuria sekä layout-suunnittelija Asko Pentinmäkeä. Kiitoksen ansaitsevat myös muut ABB Oy:n Muuntajien mekaanisen rakennesuunnittelun työntekijät, joilta tukea sain.

Vaasassa 7.6.2011

Toni Perälä

# VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Toni Perälä
Opinnäytetyön nimi	Virtamuuntaja-layout
Vuosi	2011
Kieli	suomi
Sivumäärä	40 + 4 liitettä
Ohjaaja	Juha Hantula

---

Työn aiheena oli rakentaa layout-ohjattu 3D-kokoonpanomallipohja virtamuuntajien asennuksista ABB Oy:n Vaasan muuntajatehtaalte. Valmiin kokoonpanomallipohjan avulla saataisiin lyhennettyä suunnittelun läpimenoaikoja. Työhön kuului myös layoutin käyttöohjeen kirjoittaminen, jossa on ohjeistettu myös virtamuuntajien asennuksien suunnittelu.

Työn alkuvaiheessa suoritettiin tarvekartoitus layoutin ominaisuuksien selvittämiseksi. Kokoonpanomallipohja rakennettiin Pro ENGINEER Wildfire 4.0-ohjelmistolla. Mallipohjan luonnissa hyödynnettiin Top-Down-mallinnustekniikoita sekä Pro ENGINEERIN ohjelmoitavuutta.

Työn loppuvaiheessa tuotettiin käyttöohje kokoonpanomallipohjan käytöstä. Ohjeeseen sijoitettiin myös menettelytapaosuu, jolla yhtenäistettiin virtamuuntaja-asennuksien suunnittelua. Käyttöohje kirjoitettiin englanniksi ja siitä tehtiin selkeä ja yksiselitteinen kokonaisuus kuvien ja tekstien yhteistyön avulla.

Työn lopputuloksena saatiin joustava kokoonpanomallipohja, jolla pystytään nopeasti ja helposti luomaan yleisimpien virtamuuntaja-asennuksien 3D-kokoonpanomallit sekä piirustukset. Englanninkielisenä tuotettu käyttöohje edesauttaa kokoonpanomallipohjan mahdollista käyttöönottoa myös muilla ABB:n muuntajatehtailla.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kone- ja tuotantotekniikka

## ABSTRACT

Author	Toni Perälä
Title	Current Transformer Layout
Year	2011
Language	Finnish
Pages	40 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Juha Hantula

---

The purpose of this thesis was to create a layout-driven 3D-assembly of current transformer assemblies. The thesis was made for the Transformers unit of ABB located in Vaasa. The layout driven 3D-assembly would decrease the time of designing. In addition, a manual for the use of the layout-driven assembly was made. The manual includes also a standardization of the designing of the current transformer assemblies.

The work began with the Needs Analysis in which the characteristics of the layout were defined. The layout-driven assembly was created with Pro ENGINEER Wildfire 4.0 designing software. Top-Down-techniques and programming were used.

The manual for the use of the layout-driven 3D-assembly was written in English. Different methods were used to clarify the format of the manual. The standardization of the designing of the current transformer assemblies facilitates the designing.

The result of the thesis is a flexible 3D-assembly of current transformer assemblies which allows the building of 3D-models of all the common current transformer assemblies easily. The manual which is written in English helps the introduction of the current transformer layout in the other transformer factories of ABB.

---

Keywords	Current transformer, Top-Down, Pro Engineer, manual
----------	---

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Työn tavoitteet .....	7
1.2	Työn eteneminen.....	8
2	ABB.....	9
2.1	ABB:n historia ja Strömberg .....	9
2.2	ABB Suomessa .....	10
2.3	ABB ja Muuntajat .....	10
3	MUUNTAJA JA VIRTAMUUNTAJA .....	11
3.1	Erikoismuuntajien rakenne .....	11
3.1.1	Aktiiviosa .....	12
3.1.2	Säiliö .....	13
3.1.3	Paisuntasäiliö .....	13
3.1.4	Kansi .....	13
3.1.5	Läpiviennit .....	13
3.2	Virtamuuntajat .....	14
3.3	Virtamuuntaja kokoonpanot.....	15
4	TARVEKARTOITUS JA LAYOUTIN SPESIFIKAATIO.....	17
4.1	Asiakastarpeesta tuotespesifikaatioon .....	17
4.2	Virtamuuntaja-layoutin tarvekartoitus .....	18
4.3	Tarvekartoituksen tulokset.....	19
5	PRO ENGINEER JA TOP-DOWN-TEKNIikka .....	20
5.1	Top-Down-tekniikka.....	20
5.2	Top-Down-tekniikan keinot.....	21
5.2.1	Layout ja parametrit .....	21
5.2.2	Luurankomalli .....	23
5.2.3	Relaatiot ja ohjelmarakenne .....	24
5.2.4	Boolean algebra ja if-lause.....	24
6	LAYOUTIN RAKENTAMINEN .....	26

6.1	Layoutin parametrit ja käyttöliittymä .....	26
6.2	Luurankomallin luominen relaatioineen .....	27
6.3	Osien mallinnus .....	29
6.4	Kokoonpanon ohjelmointi .....	29
6.5	Testaukset .....	31
6.6	Piirustusten tuottaminen.....	31
7	OHJEEN KIRJOITTAMISESTA .....	33
7.1	Käyttöohjeiden ongelmat .....	33
7.2	Käyttöohjeen rakenne .....	33
8	OHJEEN KIRJOITTAMINEN .....	35
8.1	Ohjeen sisältö ja rakenne .....	35
8.1.1	Menettelytapaosuus.....	35
8.1.2	Käyttöohjeisuus.....	35
8.2	Käyttöohjeen visuaalinen ilme.....	36
9	TULOKSET .....	37
10	YHTEENVETO .....	38
	LÄHDELUETTELO.....	39
	LIITTEET	

**LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Puhtaaksikirjoitettu spesifikaatio layoutin ominaisuuksista.

**LIITE 2.** Ote luurankomallin relaatioista.

**LIITE 3.** Ote muokatusta kokoonpanon ohjelmarakenteesta.

**LIITE 4.** Otteita käyttöohjeesta.

# 1 JOHDANTO

Vuosien 2008 ja 2009 aikana muodostunut maailmanlaajuinen taantuma on kiristänyt kilpailua muuntajien liiketoiminta-alueella. Taantuman suurimpia vaikutuksia ovat olleet toimitusaikojen lyheneminen sekä muuntajien hintojen laskeminen. ABB vastaa kiristyneeseen kilpailutilanteeseen lyhentämällä muuntajien valmistusprosessin läpimenoaikoja sekä optimoimalla kustannusrakenteita.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi ABB Oy:n Vaasan muuntajatehtaan mekaaninen rakennesuunnittelu. Työhön kuului layout-ohjatun 3D-kokoonpanomallipohjan rakentaminen ja sen käyttöä ohjeistavan ohjeen kirjoittaminen. Kokoonpanomalli rakennettiin Pro ENGINEER Wildfire 4.0-suunnitteluohjelmistolla. Käyttöohjeen kirjoittamisessa hyödynnettiin Microsoftin Office-tuotteita.

## 1.1 Työn tavoitteet

Tavoitteena oli rakentaa layout-ohjattu 3D-kokoonpanomalli, jolla saataisiin lyhennettyä suunnitteluajoja. Työn tavoitteita tarkennettiin työssä suoritettua tarvekartoituksen jälkeen. Pää tavoite oli edelleen suunnitteluajoja lyhentävä kokoonpanomallipohja. Lisätavoitteeksi määriteltiin käyttöohjeen kirjoittaminen, jolla myös osaltaan vakioidaan virtamuuntaja-asennuksien suunnittelua. Itse virtamuuntaja-layout tuli tuottaa vastaamaan sille asetetut vaatimukset, jotka selvitettiin tarvekartoituksella.

Virtamuuntaja-layoutille asetetut vaatimukset määritettiin kysynnän perusteella. Mekaanisen rakennesuunnittelun suunnittelijoita haastatteleamalla selvitettiin kysyntä. Tällä tavoin työn osatavoitteet olivat asiakaslähtöisiä.



## 1.2 Työn eteneminen

Työ lähti liikkeelle tarvekartoituksella, jolla selvitettiin layoutille asetettavat vaatimukset. Tarvekartoitus suoritettiin haastattelemalla suunnittelijoita sekä pitämällä asiaan liittyviä palavereja. Tarvekartoituksen tuloksista selvisi myös se, että virtamuuntajien asennuksien suunnittelu ei ole ollut tähän asti täysin yhtenäistä.

Tarvekartoituksen perusteella luotiin layoutin ominaisuuksien määritelmät. Layoutia lähdettiin rakentamaan ja sen luomisessa käytettiin hyödyksi Top-Down-mallinnustekniikoita. Layoutin rakentaminen sisälsi myös ohjelmointia. Ohjelmoinnissa käytettiin if-lauseita sekä Boolean algebraa. Valmiiseen kokoonpanomallipohjaan liitettiin piirustusohjat, joiden avulla piirustusten tuottaminen automatisoitiin.

Virtamuuntaja-layoutin rakentamisen jälkeen, kirjoitettiin käyttöohje. Ohjeella opastetaan layoutin käyttö, sekä vakioidaan virtamuuntaja-asennuksien suunnittelua osaltaan. Ohje tuotettiin englanninkielisenä, mikä helpottaa virtamuuntaja-layoutin mahdollista käyttöönottoa muilla ABB:n muuntajatehtailla.

## **2 ABB**

Vaasan seutu on yksi Suomen yritysvaltaisimmista alueista sekä Pohjoismaiden suurin energiaklusteri. Seudulla sijaitsee lähes 7 000 yritystä, joista useat toimivat vahvojen vientitoimialojen, energian ja metallin ympärillä. Alueella toimivia suurimpia kansainvälisiä yrityksiä ovat mm. ABB Oy, Wärtsilä Finland Oy sekä Vacon Oyj. /3/

ABB on ruotsalais-sveitsiläinen teollisuuskonserni, joka toimii automaatio- ja sähkötekniikan alueilla. Konserni on perustettu vuonna 1988 ja sen kasvu perustuu teknologiseen voimaan sekä vahvoihin paikallisiin juuriin, joita Suomessa edustaa Strömberg. ABB:n palveluksessa on yli 124 000 henkilöä noin 100 maassa. /1/

### **2.1 ABB:n historia ja Strömberg**

ABB-yhtymä syntyi tammikuussa vuonna 1988 kun ruotsalainen Asea Ab ja sveitsiläinen Brown, Boveri & Cie yhdistyivät. Kaksi vuotta tätä aikaisemmin Asea Ab oli ostanut Kymi-Strömberg Oy:n sähkötekniisen osan, jonka kautta ABB:n suomalaiset juuret ovat syntyneet.

Oy Strömberg Ab on Axel Gottfrid Strömbergin vuonna 1889 perustama sähkötekniinen yritys. Vuonna 1898 Strömbergin toiminta laajeni ja ensimmäinen varsinainen tehdas perustettiin Sörnäisiin. Tehtaassa valmistettiin generaattoreita ja moottoreita, jotka olivat käyttö- ja huoltokustannuksiltaan erittäin edullisia. Seuraavina vuosina Strömberg laajensi toimintaansa Pitäjänmäelle. Pitäjänmäen tehdasalue valmistui kokonaisuudessaan vuonna 1919.

Marraskuussa 1933 Strömbergin Sörnäisten tehdas paloi raunioiksi. Edessä oli muutto ja toiminnan keskittäminen Pitäjänmäelle. Pitäjänmäen tehdasaluetta laajennettiin rakentamalla uusia konehalleja sekä hallinnollisia rakennuksia.

Toisen maailmansodan aikana Strömbergin tuotanto pidettiin käynnissä materiaali- ja työvoimapulasta huolimatta. Sodan jälkeen sotakorvaukset muodostivat suuren osan tuotannosta aina vuoteen 1948 saakka. Moottoreiden ja

generaattoreiden toimittaminen alihankkijana mm. tehdas- ja laivatoimituksiin kasvoi ja toimintatiloja laajennettiin rakennuttamalla moottoritehdas Vaasaan.

1950-luku oli Suomessa vesivoiman rakentamisen aikaa, johon Strömberg osallistui seuraavan parin vuosikymmenen aikana toimittamalla n. 50 suurta vesivoimageneraattoria. 1970-luvulla liikennevälinetoimitukset työllistivät Strömbergin tehtaita. Koneita toimitettiin esim. laivoihin ja VR:n tilaamiin sähköjuniin.

Strömbergin osakaskunnassa tapahtui muutoksia vuonna 1975, kun Kymi Oy merkitsi tarjotut osakkeet nimiinsä. Myöhemmin vuonna 1982 Asea myi Strömbergin osakkeensa Kymi Oy:lle josta seurasi fuusio, jonka tuloksena muodostui Kymi-Störmborg Oy. /13/

## **2.2 ABB Suomessa**

Nykypäivänä ABB:llä on tehtaita Suomessa kolmella paikkakunnalla: tehdaskeskittymät Helsingissä ja Vaasassa sekä asennustuotteiden tehdas Porvoossa. Vaasan ja Helsingin tehdaskeskittymissä valmistetaan mm. sähkömoottoreita, erikoismuuntajia ja pienjännitekojeita. Suomen ABB:n liikevaihto vuonna 2010 oli 2174 miljoonaa euroa ja henkilöstön määrä 6881. /2/

## **2.3 ABB ja Muuntajat**

ABB on maailman suurin muuntajien valmistaja ja sillä on 7 muuntajatehdasta ympäri maailmaa. Tehtaat sijaitsevat mm. Italiassa, Yhdysvalloissa ja Suomessa Vaasassa. Vaasan muuntajatehdas on erikoismuuntajatehdas, jossa valmistetaan asiakkaan tarpeiden perusteella räätälöityjä erikoismuuntajia eri sovelluksiin. Liukuhihnatuotantoa tehtaalla ei ole, vaan jokainen valmistettava muuntaja on ainutlaatuinen. Teollisuus sekä rautatie- ja meriliikenne ovat tyypillisiä tekniikan alueita joissa erikoismuuntajia tarvitaan.

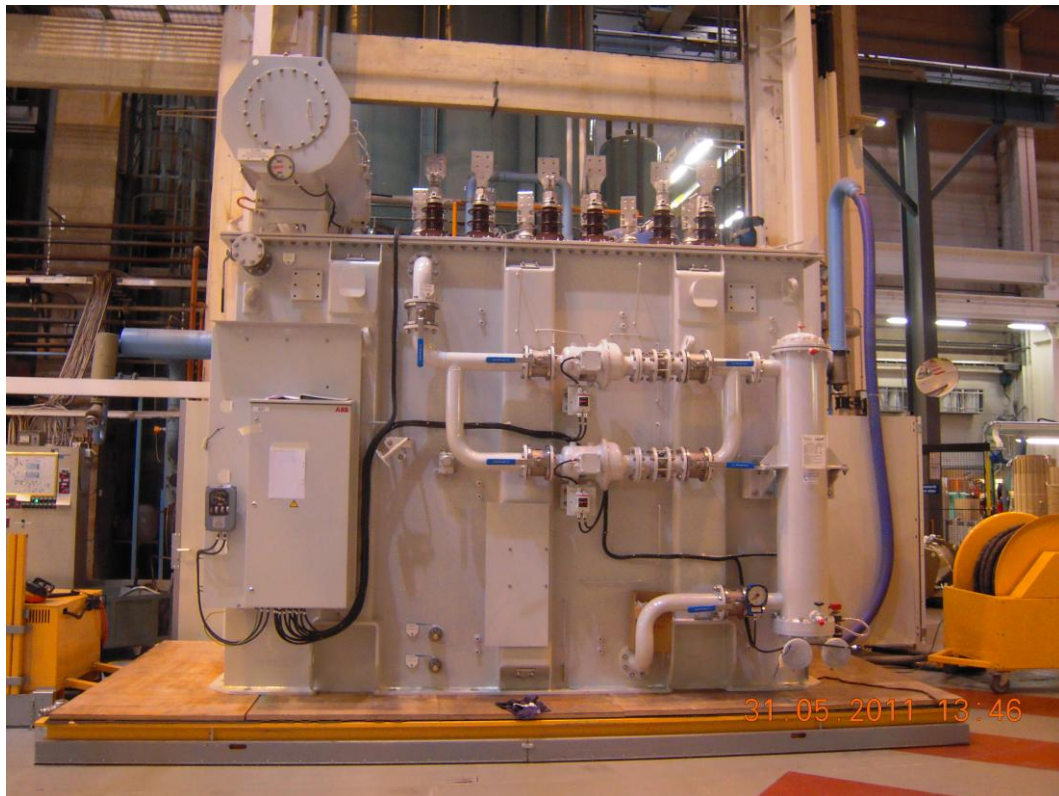
### 3 MUUNTAJA JA VIRTAMUUNTAJA

Muuntaja on laite joka muuntaa sähköenergian käyttäjälle sopivaan muotoon. Sähköverkoissa sähkö siirto tapahtuu suurella jännitteellä ja vastaavasti sähkö jakelu pienemmällä jännitteellä. Sähköä siirretään korkeajännitteisenä, koska suurta jännitettä on teknisesti helpompi hallita kuin suurta virtaa. Sähkönsiirrossa käytetyt jännitteet riippuvat siirrettävän energian määrästä. Kun siirrettävän sähkö jännitetasoa muutetaan, tarvitaan muuntajaa.

Muuntajan toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Sen perusosat ovat magneettisesti johtava sydän sekä sähköisesti johtavat ja toisistaan eristetyt käämit (ensiökäämi ja toisiokäämi). Sähköteho syötetään muuntajan ensiökäämiin ja tämä synnyttää muuttuvan magneettivuon muuntajan sydämeen. Sydämen muuttuva magneettivuo indusoi toisiokäämiin jännitteen. Ensiö- ja toisiojännitteiden suuruudet ovat suoraan verrannollisia käämien kierroslukujen suhteeseen. Sähköteho otetaan ulos muuntajan toisiokäämistä. /6/

#### 3.1 Erikoismuuntajien rakenne

Erikoismuuntajat ovat räätälöityjä tuotteita. Niiden perusrakenne on kuitenkin hyvin samanlainen (kuva 1.). Jokaisessa muuntajassa on aktiiviosa (sydän ja käämit), säiliö, kansi, paisuntasäiliö, läpiviennit sekä mitta- ja suojavarusteita.



**Kuva 1.** Erikoismuuntaja vesijäähdyttimillä.

### 3.1.1 Aktiiviosa

Sähkön jännitetason muuttaminen tapahtuu aktiiviosassa. Yleisissä sähkön siirto- ja jakeluratkaisuissa muuntajien sähköiset arvot kuten muuntosuhde ja teho ovat vakioituneet. Tällöin myös aktiiviosa on vakioitu, sillä juuri aktiiviosan rakenne määrää muuntajan sähköiset arvot. Näillä vakioituilla ratkaisuilla pystytään vastaamaan yleisimpiin sähkönsiirron sovelluksiin, esimerkiksi valtakunnalliseen sähkönsiirtoon voimalaitokselta kuluttajalle saakka. Teollisuudesta löytyy kuitenkin paljon vaativia ja monimutkaisia sovelluksia, joihin näillä vakioratkaisuilla ei pystytä vastaamaan. Näitä sovelluksia varten tarvitaan erikoismuuntajia. Erikoismuuntajien sähköisiä arvoja tarkasteltaessa huomaa, että ne voivat poiketa toisistaan hyvinkin paljon. Tämä tarkoittaa myös sitä, että aktiiviosan rakenteet poikkeavat toisistaan paljon. Käytännössä aktiiviosan rakenteen vaihtelu tarkoittaa käämien lukumäärää ja tyyppiä, sydämen valmistustapaa sekä materiaalia. Suurimmissa erikoismuuntajissa voi olla myös useampi aktiiviosa. /6/ /11, 92-98/

### **3.1.2 Säiliö**

Muuntajan aktiiviosa suojataan säiliöllä. Säiliön tehtävänä on toimia muuntajan kantavana runkona, öljysäiliönä ja jäähdyttimenä. Sen on kestävä ulkoilman ympäristörasitukset ja oltava öljytiivis. Säiliö valmistetaan yleensä 8-10 millimetriä paksuista teräslevyseinistä jotka kokoonpanohitsauksessa hitsataan 20 millimetriä paksuun pohjalevyyn. Muuntajan loppukokoonpanossa säiliö täytetään öljyllä ja öljyn tehtävä on toimia sähköisenä eristeenä sekä jäähdyttimenä. Riittävän jäähdytyskyvyn tuottamiseksi säiliöön kiinnitetään myös erilliset jäähdyttimet. Useimmiten nämä jäähdyttimet ovat suuri pinta-alaiset radiaattorijäähdyttimet. /6/ /11, 92-98/

### **3.1.3 Paisuntasäiliö**

Paisuntasäiliön tehtävänä on toimia muuntajan öljyn paisuntatilana. Öljyn lämpötilan muuttuessa myös öljyn tilavuus muuttuu. Tilavuuden muutoksesta johtuva öljyn pinnan korkeuden vaihtelu tapahtuu paisuntasäiliössä. Yleensä paisuntasäiliö mitoitetetaan siten, että öljyn lämpötilan ollessa korkeimmillaan paisuntasäiliö on melkein täynnä öljyä. Öljyn ollessa kylmimmillään paisuntasäiliössä on vähän öljyä. Näin varmistetaan että aktiiviosa on aina öljyn peitossa. /6/ /11, 92-98/

### **3.1.4 Kansi**

Muuntajan kannen tehtävänä on toimia säiliön sulkevana ja muuntajan rakennetta tukevana elementtinä. Kansi kiinnitetään muuntajaan säiliöön joko hitsaamalla tai usealla pulttiliitoksella. Muuntajan valmistuksessa aktiiviosa kiinnitetään yleensä kanteen ja lasketaan kannen avulla säiliön sisälle. Suurin osa muuntajan varusteista ja mittalaitteista sijaitsee kannella. Myös yleisimmissä erikoismuuntaja ratkaisuissa läpiviennit sijaitsevat muuntajan kannella. /6/ /11, 92-98/

### **3.1.5 Läpiviennit**

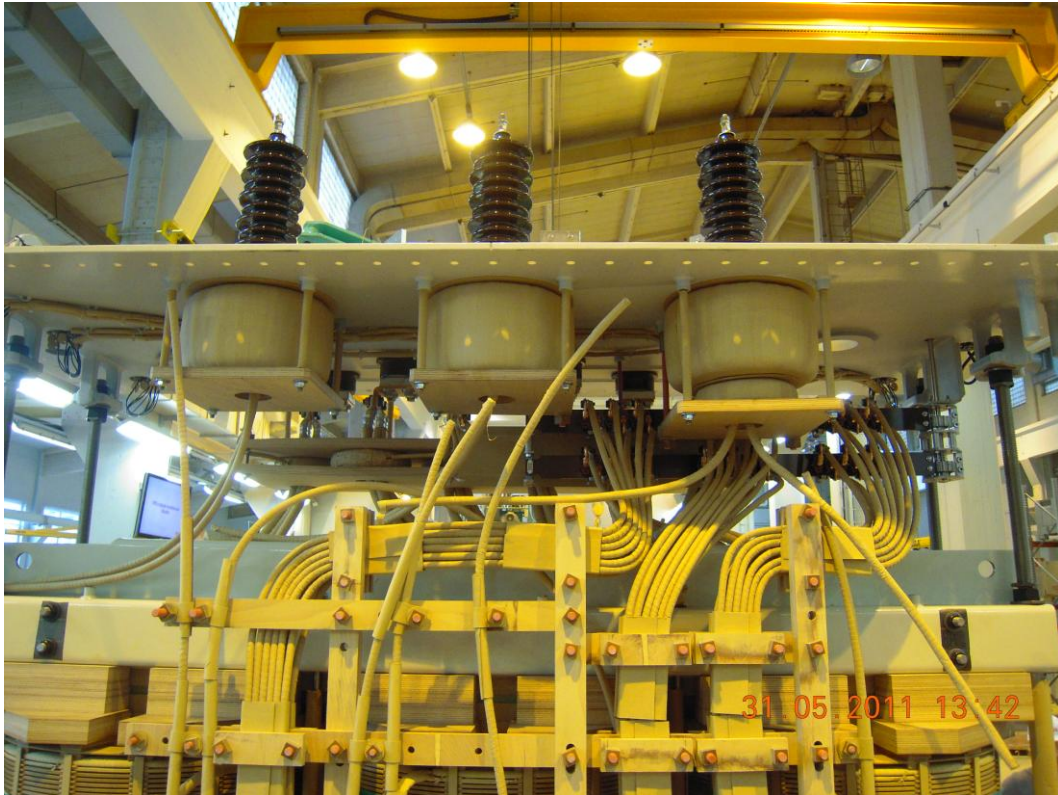
Muuntaja kytketään sähköverkkoon läpivientien kautta. Läpiviennit toimivat eristeinä muuntajan käämeiltä tulevien kytkentäjohtimien ja maapotentiaalissa

olevan muuntajan kannen välillä. Yleisimmin käytetään posliiniläpivientejä, mutta myöskään kuparikiskoläpivientien käyttö ei ole harvinaista. Kuparikiskoläpivientejä käytetään sovelluksissa, joissa toisiokäämin virrat ovat suuria. /6/ /11, 92-98/

### **3.2 Virtamuuntajat**

Sähköverkon eri osat kuten generaattorit, muuntajat ja johdinlinjat pyritään yleensä suojaamaan valvontalaitteilla. Näitä valvontalaitteita ovat esimerkiksi erilaiset suojareleet, lämpömittarit ja kaasureleet jotka vikatilanteissa pystyvät vian laadusta riippuen eristämään viallisen osan tai antamaan hälytyksen. Virtamuuntajien tehtävänä on muuttaa verkossa oleva virta näille suoja- ja valvontalaitteille sopivaksi. Käyttötarkoituksesta riippuen vaatimukset virtamuuntajille ovat erilaiset. Oikosulkuilanteessa virtamuuntajan on pystyttävä muuntamaan hyvinkin suuri virta, kun taas mittauksessa tarkkuusluokka on tärkeä. Käyttötarkoituksen perusteella myös virtamuuntajien sähköiset arvot vaihtelevat. Sähköisten arvojen vaihtelun myötä myös virtamuuntajien koko ja paino vaihtelevat.

Virtamuuntajien määrä jokaista erikoismuuntajaa kohden vaihtelee. Kuitenkin lähes poikkeuksetta vähintään yksi virtamuuntaja asennetaan jokaiseen erikoismuuntajaan. Enimmillään asennettavia virtamuuntajia saattaa olla jopa kaksikymmentä. Virtamuuntajat asennetaan säiliön sisälle ja ne kiinnitetään kanteen (kuva 2.). Ne pyritään sijoittamaan läpiviennin läheisyyteen, sillä ne liitetään osaksi sähköpiiriä läpivienneistä.



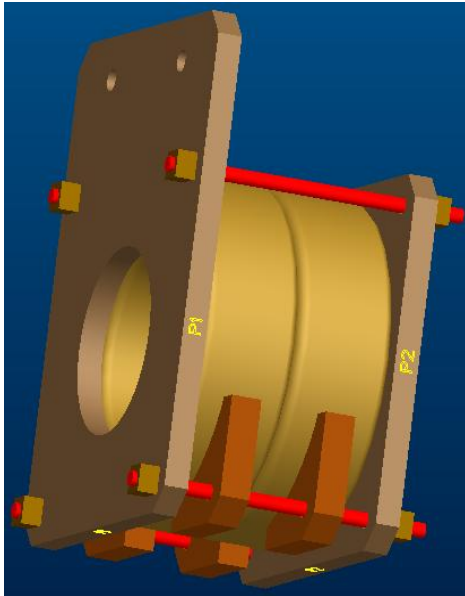
**Kuva 2.** Virtamuuntajien asennus.

Virtamuuntajien kiinnitystapoja on erilaisia johtuen virtamuuntajien kokojen ja lukumäärien sekä säiliön sisälle jäävän tilan vaihtelevuudesta. /6/ /11, 104-107/

### **3.3 Virtamuuntaja kokoonpanot**

Virtamuuntaja-asennuksien kokoonpanot koostuvat eri komponenteista (kuva 3.). Komponentit voidaan jakaa karkeasti neljään eri luokkaan: virtamuuntajat, tukiosat, eristeosat ja kiinnitysosat. Yhdessä kokoonpanossa on tavallisesti 1-5 virtamuuntajaa.





**Kuva 3.** Virtamuuntajakokoonpanon 3D-malli

Kokoonpano koostuu normaalisti puristelevyistä, joiden väliin virtamuuntajat sijoitetaan. Puristelevyjen reikien läpi asennetaan kierretangot. Kierretangot mahdollistavat kokoonpanon puristamisen tiiviiksi muttereiden avulla. Virtamuuntajien asennuksissa käytetään kolmea eri tapaa. Kokoonpanot voidaan kiinnittää kierretangoilla kanteen hitsattuihin kierre-elementteihin tai pulttiliitoksella erikseen hitsattuun kannattimeen.

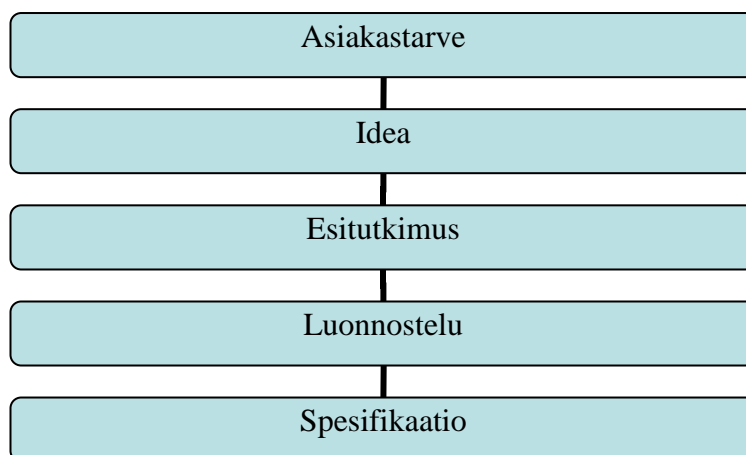
## 4 TARVEKARTOITUS JA LAYOUTIN SPESIFIKAATIO

ABB Oy:n muuntajatehtaat käyttävät muuntajien suunnittelussa Pro Engineer Wildfire 3D-mallinnusohjelmaa. ProE:n ohjelmoitavuutta on hyödynnetty erittäin laajasti ja monipuolisesti helpottamaan ja ennen kaikkea nopeuttamaan suunnittelua. Tämä on toteutettu erilaisten layout-ohjattujen kokoonpanomallien sekä valmiiksi tehtyjen kokoonpanomallipohjien avulla. Kuitenkin virtamuuntajien kokoonpanomallipohja vaati jokaisen Vaasan muuntajatehtaan mekaanisen rakennesuunnittelijan mielestä parannuksia.

Mekaanisen rakennesuunnittelun virtamuuntajien kokoonpanomallipohjan kehittäminen ja uuden mallipohjan rakentaminen sai alkunsa asiakastarpeesta. Asiakkaana oli ABB Oy:n Vaasan muuntajatehtaan mekaaninen rakennesuunnittelu. Valmistuote tulisi olemaan uusi virtamuuntajien kokoonpanomallipohja jolla virtamuuntajien asennuksien suunnittelu sujuisi helpommin ja nopeammin. Työn kuvauksesta ilmenee tuotekehitysprojektille tunnusomaisia piirteitä.

### 4.1 Asiakastarpeesta tuotespesifikaatioon

Kehitystoiminta on asiakastarpeesta käynnistyvä prosessi (kuva 4.), jossa uusien ideoiden avulla pyritään keksiä uusi tuote tai parantaa jo olemassa olevaa tuotetta asiakkaan tarpeiden mukaisesti.



**Kuva 4.** Kehitystoimintaprosessin alkuvaihe.

Idean pohjalta lähdetään suorittamaan esitutkimusta. Esitutkimuksen laajuus sekä suoritustapa vaihtelevat kehitettävän tuotteen tai toiminnan mukaan. Tutkimuksen tavoitteena on kuitenkin selvittää tulevan tuotteen ominaisuudet sekä tuotanto- ja markkinamahdollisuudet. Lisäksi esitutkimuksen aikana kartoitetaan ja vähennetään riskejä sekä tutkitaan tuotteeseen liittyviä teollisuusosoikeuksia.

Luonnosteluvaiheessa tuotekonseptia täsmennetään ja tuotteen spesifikaatio määritellään. Esitutkimuksen tuloksien perusteella tuotetaan ratkaisut, joilla asiakastarpeeseen vastataan. Ratkaisuja arvioidaan ja niistä valitaan ne ratkaisut, joilla tarve pystytään tyydyttämään parhaiten niin asiakkaan kuin tuotannon, markkinoinnin ja taloushallinnon näkökulmasta. Ratkaisujen arviointiin ja valintaan on käytettävissä erilaisia työkaluja. Näitä työkaluja ovat esimerkiksi vaatimuslista sekä laatukaavio.

Vaatimuslistassa tuotteen vaatimukset jaetaan kiinteisiin vaatimuksiin ja vähimmäisvaatimuksiin. Lisäksi listalla voidaan huomioida myös toivottuja ominaisuuksia. Valmis vaatimuslista antaa selkeän kuvan tuotteen eri ominaisuuksien vaatimuksista. Laatukaaviossa asiakkaan vaatimuksia verrataan tulevan tuotteen ominaisuuksiin. Kaavio kertoo, miten hyvin asiakastarpeet täyttyvät ja mitkä ovat tuotteen parhaat puolet. Lisäksi tuotteen heikommat kohdat löydetään ja näin osataan suunnitella tarvittavia parannuksia. /12/

#### **4.2 Virtamuuntaja-layoutin tarvekartoitus**

Asiakastarve oli uusi virtamuuntajien kokoonpanomallipohja. Tarpeesta syntyi idea rakentaa layout-ohjattu virtamuuntajien kokoonpanomalli, jolla pystyttäisiin tuottamaan yleisimpien virtamuuntaja-asennuksien 3D-mallit sekä piirustukset. Kehitystoiminta prosessin mukaisesti ensimmäisenä vaiheena oli esitutkimus; tulevan tuotteen ominaisuuksien selvittäminen.

Tarvekartoituksella pyrittiin selvittämään vaatimuslistan mukaisesti minkälaisia ominaisuuksia ja toimintoja kokoonpanomallipohjalla tulisi vähintään olla. Lisäksi selvitettiin mitkä olisivat toivottuja vaatimuksia. Tarvekartoitus suoritettiin haastatteleamalla suunnittelijoita sekä pitämällä palavereja asiasta.

Kaikki erilaiset esille tulleet toiminnot ja ominaisuudet kirjattiin ylös ja ne luokiteltiin kahteen luokkaan: tärkeä ja vähemmän tärkeä. Esitutkimuksen tulosten pohjalta käynnistettiin luonnosteluvaihe.

Luonnosteluvaiheessa tavoitteena oli esitutkimuksen tulosten perusteella luoda spesifikaatio layout-ohjatulle virtamuuntajien kokoonpanomallipohjalle. Tärkeiden ominaisuuksien ja toimintojen toteutustapaa tutkittiin ja vähemmän tärkeiden ominaisuuksien ja toimintojen toteutusmahdollisuuksia selvitettiin. Tärkeät toiminnot olivat kokoonpanomallipohjan vähimmäisvaatimuksia ja ne tuli toteuttaa. Keinot näiden toimintojen toteuttamiseksi luonnosteltiin pääperiaatteittain. Vähemmän tärkeitä ominaisuuksia tarkasteltiin toivottuina ominaisuuksia. Päätökset näiden ominaisuuksien toteuttamisesta tehtiin vertaamalla ominaisuuksien hyödyllisyyttä niiden toteuttamiseen vaativaa työtä vasten.

#### **4.3 Tarvekartoituksen tulokset**

Tarvekartoituksessa kerättyjen tietojen perusteella luotiin spesifikaatio virtamuuntajien kokoonpanomallipohjan ominaisuuksista (Liite 1.). Tarvekartoituksen yhteydessä ilmeni myös, että käytännöt virtamuuntajien asennuksien suunnittelussa vaihtelivat. Yhtenäistä ja vakioitua linjaa esimerkiksi asennustavan tai eristemateriaalien käytön suhteen ei ollut. Tästä syystä päätettiin luonnosteluvaiheessa, että yhtenä osana kokoonpanomallipohjaa tuotetaan myös ohje, jolla osaltaan vakioidaan virtamuuntajien asennuksia. Päätös ohjeen tuottamisesta nosti esille myös idean kokoonpanomallipohjan käytöstä muillakin ABB Oy:n muuntajatehtailla. Tästä syystä päätettiin, että ohje sisältäisi myös käyttöohjeisuuden, jossa kokoonpanomallipohjan käyttö olisi ohjeistettu. Näin ollen ohje sekä kokoonpanomallipohjan toiminnot tulisi toteuttaa englanninkielisinä.

## 5 PRO ENGINEER JA TOP-DOWN-TEKNIikka

Suurin osa työn suorituksesta tehtiin Pro Engineer Wildfire 4.0-ohjelmistolla. Muiden 3D-mallinusohjelmien tavoin myös ProE:llä mallintaminen perustuu piirteiden luomiseen erilaisista 2D-luonnoksista. Kolmiulotteisia muotoja ja tilavuuksia voidaan luoda esimerkiksi pursottamalla luonnosta haluttuun suuntaan tai pyöryttämällä se akselin ympäri. Muista 3D-mallinnusohjelmista poiketen, ProE erottuu edukseen parametriseen 3D-mallinnuksen saralla. Sen ohjelmoitavuuden avulla pystytään luomaan koodattuja suhteita parametrien, mittojen sekä piirteiden välille. Hyvin ohjelmoidut suhteet eri toimintojen välillä voivat automatisoida suunnittelua hyvinkin paljon. Aikaa ei kulu niin paljon mallintamiseen ja suunnitteluaijkoja saadaan lyhennettyä. Mallinnustekniikoiden kehityksen myötä ohjelmistotuottajat ovat lanseeranneet Top-Down-mallinnustekniikan, jossa parametrsta 3D-mallinnusta pystytään hyödyntämään entistä tehokkaammin. /10/

### 5.1 Top-Down-teknikka

Lyhyesti sanottu Top-Down-teknikka on mallintamiskeino, jossa lähdetään liikkeelle halutusta loppukokonaisuudesta. Top-Down-teknikan vastakohta on Bottom-Up-teknikka, joka on tavanomaisempi 3D-mallinnustekniikka. Bottom-Up-teknikassa lähestytään haluttua lopputulosta suunnittelemalla ensin osat, joista haluttu loppukokoonpano lopulta luodaan.

Top-Down-teknikan käyttämiseen on olemassa monia keinoja. Yhtenäistä näille keinoille on kuitenkin se, miten tieto sidotaan suunniteltavan tuotteen rakenteeseen. Tarkoitus on, että kriittinen tieto sijaitsee mahdollisimman korkealla mallin hierarkisessa rakenteessa. Tällöin tätä tietoa pystytään hyödyntämään rakenteen alemmilla tasoilla, eikä saman tiedon tarvitse esiintyä erikseen tason jokaisessa osassa. Useista pulitiliitoksista koostuva kokoonpano pystytään tällä tavalla määrittelemään esimerkiksi siten, että tieto pulitikoosta sidotaan rakenteessa korkealla. Nyt tieto pystytään linkittämään kaikkiin kokoonpanon osiin ja tämän yhden tiedon muuttaminen aikaansaa muutoksen myös kaikissa

kokoonpanon osissa. Perinteisemmässä Bottom-Up-tekniikassa muutos pitäisi suorittaa jokaisen osan kohdalla erikseen.

Top-down-tekniikka on hyvä tapa toteuttaa 3D-mallinnusta. Suunnitteluprosessin alkuvaiheessa menetelmä käyttö on usein raskaampaa kuin perinteisemmän Bottom-Up-tekniikan käyttö. Top-Down-menetelmien avulla tuotteen malleihin saadaan kuitenkin joustavuutta ja vaihtelevuutta. Joustavuuden ansiosta suunnittelun myöhemmän vaiheen muutokset ovat helposti ja nopeasti toteutettavissa. Tästä syystä suurin hyöty Top-Down-tekniikasta saavutetaan pitkissä projekteissa joissa tuotteeseen tehdään paljon muutoksia. /9/ /10/

## **5.2 Top-Down-tekniikan keinot**

Top-Down-tekniikkaa voidaan käyttää monellakin eri tapaa. Kokoonpanon piirteistä voidaan luoda viittauksia alikokoonpanoihin tai komponentteihin. Tämä tapahtuu yleensä kokoonpanossa mallintamisen avulla. Tämän lisäksi voidaan luoda layout-ohjattuja malleja, joiden käyttäytymistä ohjataan parametrien sekä relaatioiden avulla. Yksi yleinen tapa toteuttaa Top-Down-tekniikkaa on luurankomallien hyödyntäminen. Luurankomalleilla tarkoitetaan malleja joita käytetään muiden mallien ohjaamiseen. Myös luurankomalleista voidaan tehdä layout-ohjattuja.

### **5.2.1 Layout ja parametrit**

Layoutilla on kaksi tehtävää: toimia rakennetun mallikokonaisuuden ohjaamisen käyttöliittymänä sekä linkittää parametrit osien ja kokoonpanojen välillä. Yleensä käyttöliittymä rakennetaan taulukkomaiseksi (kuva 5.). Taulukoihin kootaan tuotteen kannalta tärkeitä tietoja joiden arvot käyttäjä syöttää.

# Current transformers

DRAWING TITLE INFORMATION	
DESIGNED	21.07.2010
DEPARTMENT	GES
PROJECT NUMBER	400000
SUB NUMBER	A0000
APPROVED	21.07.2010 GES

**Kuva 5.** Esimerkki layoutin käyttöliittymästä.

Taulukoiden lisäksi layoutiin pystytään myös luomaan havainnollistavia periaatekuvia tuotteesta piirtotyökalujen avulla. Periaatekuvia voidaan myös tuoda layoutiin esimerkiksi piirustuksista. Näiden periaatekuvien avulla käyttöliittymästä saadaan selkeämpi, sillä kuvilla on helpompi osoittaa mitä arvoja käyttäjän halutaan syöttävän.

Käyttöliittymän toiminnan pääperiaate on, että käyttäjä syöttää tietyn arvon tiettyyn kenttään. Käyttäjän syöttämä arvo kirjautuu ylös kenttään liitetyn parametrin arvoksi. Tätä parametria ja sen arvoa pystytään käyttämään hyväksi osissa sekä kokoonpanoissa, joihin layout on linkitetty. Käytännössä layoutin linkittäminen osaan tuo layoutissa luodut parametrit hyödynnettäviksi osien ja kokoonpanojen tasoille. Parametreja voidaan hyödyntää usealla tavalla.

Käytettäviä parametreja on neljää eri tyyppiä (kuva 6.). Parametreja käytetään esimerkiksi tuotteen kriittisten mittojen määrittämiseen tai ohjelmoinnin apumuuttujina.

Parameters						
File Edit Parameters Tools Show						
Look In						
Layout						
Filter By All						
Name	Type	Value	Designate	Access	Source	
CURR_TRANS4_OUT_DIAM	Real Number	300.0000...	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS4_INN_DIAM	Real Number	150.0000...	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS4_HEIGHT	Real Number	80.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS4	Yes No	NO	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS3_WEIGHT	Real Number	1.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS3_OUT_DIAM	Real Number	280.0000...	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS3_INN_DIAM	Real Number	150.0000...	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS3_HEIGHT	Real Number	80.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS3	Yes No	NO	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS2_WEIGHT	Real Number	1.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS2_OUT_DIAM	Real Number	280.0000...	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS2_INN_DIAM	Real Number	150.0000...	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS2_HEIGHT	Real Number	80.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS2	Yes No	YES	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS1_WEIGHT	Real Number	1.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS1_OUT_DIAM	Real Number	280.0000...	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS1_INN_DIAM	Real Number	150.0000...	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS1_HEIGHT	Real Number	80.000000	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CURR_TRANS1	Yes No	YES	<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	
CTS_CODE	String		<input type="checkbox"/>	Full ...	User-Defi...	

## Kuva 6. Parametrit.

Real number-parametrin arvo voi olla mikä tahansa reaalityyppinen luku. Tämän tyyppisiä parametreja käytetään esimerkiksi mittojen ja halkaisijoiden määrittämiseen. String-parametrin arvoksi voidaan puolestaan kirjoittaa tekstiä. Yrityksmaailmassa tuotteiden jäljitettävyyden on tärkeitä ja tästä syystä tuotteilla on lähes poikkeuksetta ainutlaatuiset tuotekoodit ja piirustusnumerot. String-parametrin käyttösovellukset liittyvätkin useasti tuotekoodien ja piirustusnumeroiden hallintaan. Integer-parametrin arvoksi voidaan määrittää mikä tahansa kokonaisluku. Kokonaislukuja apuna käyttäen pystytään ohjelmoimaan esimerkiksi erilaisia valintoja. Loogisella parametrilla true or false voi olla vain kaksi arvoa. Tätä parametria käytetään hyväksi relaatioissa ja ohjelmoinnissa. /10/

### 5.2.2 Luurankomalli

Luurankomallien tehtävänä on muiden mallien ja kokoonpanojen ohjaaminen. Ne koostuvat aputaseista, apuakseleista, koordinaatistoista sekä luonnoksista. Luurankomalli luodaan kokoonpanon ensimmäiseksi osaksi ja sen piirteitä käytetään hyödyksi kokoonpanon osien luomisessa sekä paikoittamisessa.



Yleinen tapa Top-Down-mallinnuksessa on, että luurankomalliin sijoitetaan tuotteen pääpiirteet. Pääpiirteet luodaan luurankoon siten, että niitä pystytään muokkaamaan helposti. Myöhemmin pääpiirteitä käytetään hyödyksi osien paikoittamisessa. Tämän jälkeen mahdollisten suurempien muutosten toteutus tehdään luurankomallissa. Luurankomallin tiedot ovat sidoksissa kokoonpanon osiin ja luurankomallissa tehty muutos päivittää kokoonpanon. Monimutkaisissa ja suurissa kokoonpanoissa luurankomalleja ohjataan osaltaan relaatioiden ja layoutin kautta. Tärkeimmät tiedot tuotteesta säilyvät edelleen käyttäjän muokattavissa mutta erilaisten apu- ja lisäpiirteiden ohjaus automatisoidaan relaatioiden avulla. /10/

### 5.2.3 Relaatiot ja ohjelmarakenne

Relaatiot ovat ehtoja joita voidaan kirjoittaa niin osien malleihin kuin kokoonpanoihin. Niillä pystytään määrittämään esimerkiksi piirteiden ominaisuuksia. Piirteiden mitat voidaan sitoa eri parametrien arvoihin tai itse kirjoitettuihin arvoihin. Relaatioista voidaan rakentaa hyvinkin monipuolisia käyttäen hyväksi if-lauseita sekä Boolean algebraa (liite 2). Relaatioiden lisäksi mallien ja kokoonpanojen rakennetta pystytään muovaamaan muokkaamalla niiden ohjelmarakennetta. Ohjelmarakenteessa on tieto kaikista mallissa käytetyistä piirteistä. Kokoonpanojen puolella ohjelmarakenne sisältää tiedon myös siihen lisätyistä komponenteista. Relaatioilla määritellään piirteiden ominaisuuksia kun taas ohjelmarakenteen puolella määritellään ehdot piirteiden toteutumiselle. Ohjelmarakennetta muokkaamalla pystytään päättämään esimerkiksi milloin mikäkin komponentti tuodaan kokoonpanoon. Ohjelmarakenteen muokkaamisessa käytetään myös hyödyksi Boolean algebraa sekä if-lauseita. /10/

### 5.2.4 Boolean algebra ja if-lause

Relaatioiden kirjoittamisessa ja ohjelmarakenteiden muokkaamisessa käytetään Boolean algebraa sekä if-lauseita. If-lause on ehtolause jota käytetään eri ohjelmointikielissä. Siinä määritetään ehto ja tämän ehdon toteutumista seuraava

toiminta. Lausetta voidaan käyttää myös kaksipuoleisena, jolloin määritetään myös toiminta kun ehto ei toteudu.

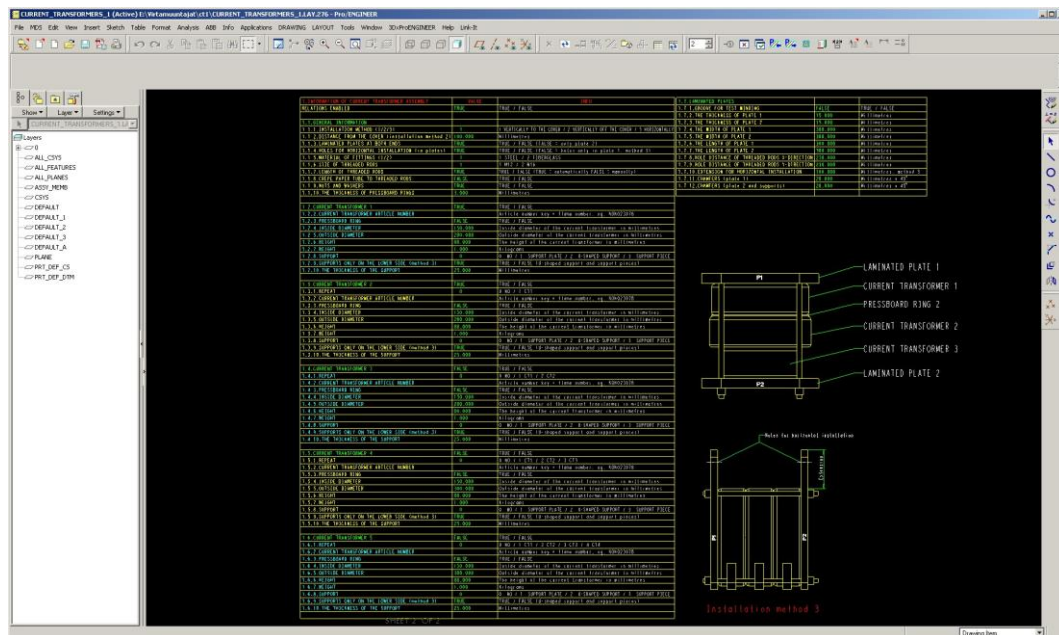
Boolean algebra käsittelee loogisia muuttujia ja niiden välisiä riippuvuussuhteita eli loogisia funktioita. Loogisilla muuttujilla voi olla vain kaksi arvoa: tosi tai epätosi. If-lauseiden ehdot määritellään monesti loogisilla muuttujilla. Riippuvuussuhteita loogisten muuttujien välille pystytään luomaan Boolean algebran operaatioilla. Niistä käytetyimpiä ovat AND- ja OR-operaatiot. Näiden operaatioiden avulla voidaan luoda monipuolisia ehtoja if-lauseille. Monipuoliset if-lauseet mahdollistavat monimutkaistenkin kokoonpanojen ja mallien joustavan muunneltavuuden. /8, 22-26/

## **6 LAYOUTIN RAKENTAMINEN**

Tarvekartoituksen sekä kokoonpanomallipohjan spesifikaation määrittelyn aikana päätettiin myös keinot työn suorittamiseen. Layoutia lähdettiin rakentamaan johdonmukaisesti spesifikaation perusteella. Työn suoritus eteni selkeässä ja loogisessa järjestyksessä. Ensin luotiin layout sekä tarvittavat parametrit. Layoutin jälkeen tarkasteltiin kokoonpanomallia ohjaavaa luurankomallia. Luurankomallin määrittelyiden jälkeen mallinnettiin itse osat. Lopuksi osat liitettiin kokoonpanoon ja kokoonpanon ohjelmarakenne koodattiin toimimaan halutulla tavalla. Tarvittavat relaatiot kirjoitettiin aina kyseisen komponentin luonnin ja mallintamisen yhteydessä. Valmiille kokoonpanomallipohjalle suoritettiin useita testauksia. Pitkien relaatioiden sekä monirivisten ehtojen kirjoittamisessa virheiden mahdollisuus on suuri. Layoutin rakentamisen viimeisessä vaiheessa, testauksien ja tarpeellisten korjauksien jälkeen, luotiin piirustukset.

### **6.1 Layoutin parametrit ja käyttöliittymä**

Layoutin rakentaminen aloitettiin sen käyttöliittymän rakentamisella (kuva 7.). Se toteutettiin taulukkomaisena, jossa jokaisella valinnalla oli oma rivi. Joka riville luotiin kolme saraketta. Ensimmäisessä sarakkeessa oli valinnan nimi. Toiseen sarakkeeseen käyttäjä syöttäisi valintansa ja kolmannessa sarakkeessa oli huomioita valintojen vaikutuksista. Käyttöliittymää havainnollistettiin periaatekuvilla.



**Kuva 7.** Layoutin käyttöliittymä.

Käyttöliittymän jälkeen luotiin suurin osa tarvittavista parametreista. Layoutin jokaiselle valinnalle määritettiin oma parametri ja ne nimettiin siten, että ne on helppo tunnistaa. Parametrin tyypin määräsi sen käyttötarkoitus. Virtamuuntajien kokoja määrittelevät parametrit luotiin Real number-parametreina kun taas virtamuuntajien lukumäärien valinnassa käytettiin loogisia parametreja.

Työn alkuvaiheessa ei vielä tiedetty tarkalleen kaikkia ohjelmoinnin vaativia apumuuttujia. Näin ollen tarvittavia parametreja lisättiin layoutiin myös työn myöhemmässä vaiheessa. Suurin osa näistä apuparametreista oli loogisia parametreja. Kuitenkin myös mittaavia ja laskevia apuparametreja tarvittiin. Esimerkki mittaavasta parametrilla on parametri, jonka arvo määritettiin siten, että sen arvoksi määräytyy virtamuuntajakokoonpanon korkeus.

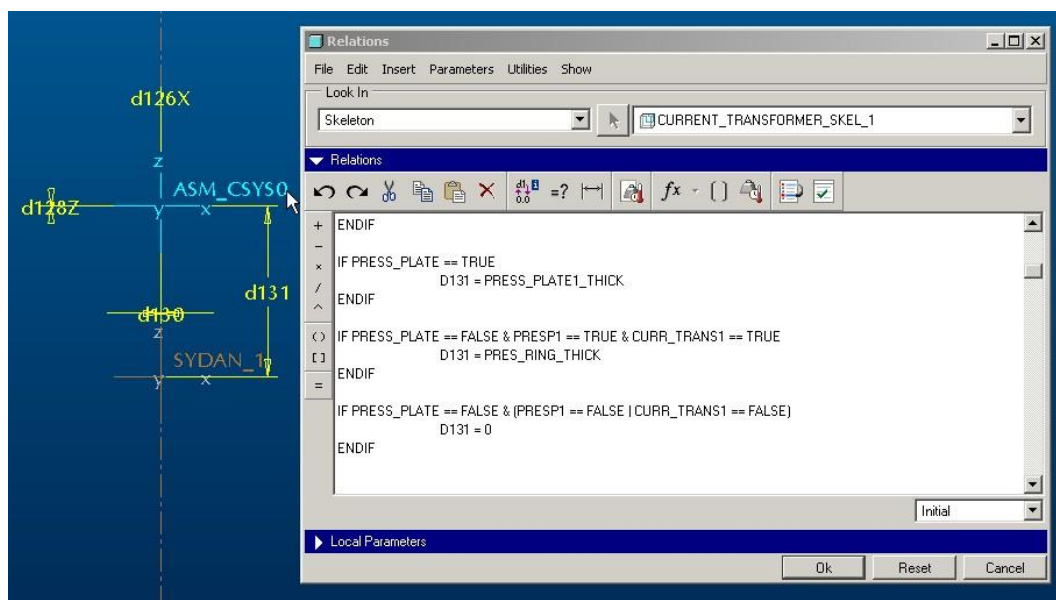
## 6.2 Luurankomallin luominen relaatioineen

Luurankomallin käyttö rajattiin aluksi pelkästään kokoonpanon ja sen mallin osien ohjaamiseen. Tällöin kokoonpanoon lisättävät osat paikoitettaisiin luurankomalliin. Kokoonpanossa osat voidaan paikoittaa toisiinsa. Tämä luo kuitenkin sidoksia osien välille. Kun osat ovat sidoksissa toisiinsa, kokoonpanon joustavuus ja muokattavuus heikkenee. Tästä syystä osat oli tarkoitettu paikoittaa

luurankomallin apukoordinaatistoihin. Tällä tavoin rakennettu kokoonpano tarjoaa myös käyttäjäystävällisemmän tavan manuaaliseen muokkaamiseen. Kun osat ovat sidoksissa toisiinsa, saattaa yhden komponentin poistaminen johtaa siihen, että myös muut komponentit häviävät. Myöhemmin luurankomalliin luotiin myös muita apupiirteitä joiden avulla tietyt layout-ohjatut valinnat pystyttiin suorittamaan.

Layoutin parametroiden jälkeen se linkitettiin luurankomalliin. Nyt Layoutin parametrit olivat käytössä luurankomallissa. Jokaiselle kokoonpanoon tuotavalle osalle luotiin oma koordinaatisto ja ne nimettiin käyttötarkoituksensa mukaan. Koordinaatistot luotiin siten, että ne olivat riippuvaisia toisistaan. Tällä tavoin koordinaatiston 2 paikka riippui sekä luurankomallin nollatason ja koordinaatiston 1 etäisyydestä, että koordinaatistojen 1 ja 2 välisestä etäisyydestä. Vastaavasti kokoonpanon viimeisen koordinaatiston paikka riippui kaikkien muiden koordinaatistojen välisistä etäisyyksistä.

Koordinaatistojen etäisyydet sidottiin parametreihin relaatioilla (kuva 8.). Relaatioihin kirjoitettiin ehdot milloin etäisyydet saisivat parametrin arvon (Liite 2). Jos ehdot eivät toteutuneet, pakotettiin etäisyys nolllaksi.



**Kuva 8.** Koordinaatiston etäisyydet.

Tämä lähestymistapa mahdollisti sen, että kokoonpano pysyi yhtenäisenä. Osien määrä ja koko kokoonpanossa vaikuttaa osien paikoitukseen. Näiden asioiden vaikutus huomioitiin relaatioiden avulla.

### **6.3 Osien mallinnus**

Osien mallinnuksessa ei juurikaan käytetty perinteisiä Top-Down-tekniikoita kuten kokoonpanossa mallintamista. Kokoonpanossa mallintaminen luo aina sidoksia ja viitteitä osien välille. Kun osien vaihtelevuus on suurta, viitteet ja sidokset katoavat helposti, mikä aiheuttaa vikatiloja. Tästä syystä myös osien mallien käyttäytymistä ohjattiin relaatioilla.

Virtamuuntajakokoonpanon komponentit ovat yksinkertaisia. Niiden mallintaminen perinteisinkin menetelmin on varsin helppoa. Mallintamisessa tuli kuitenkin huomioida se, miten piirteet saadaan luotua järkevästi, jotta niiden ohjaaminen relaatioilla onnistuu. Esimerkiksi puristelevyjen reunojen viisteitä ei voitu toteuttaa valmiilla viiste-piirteellä, sillä piirteen ohjaaminen tilanteessa, jossa viistettä ei haluta, ei onnistuisi.

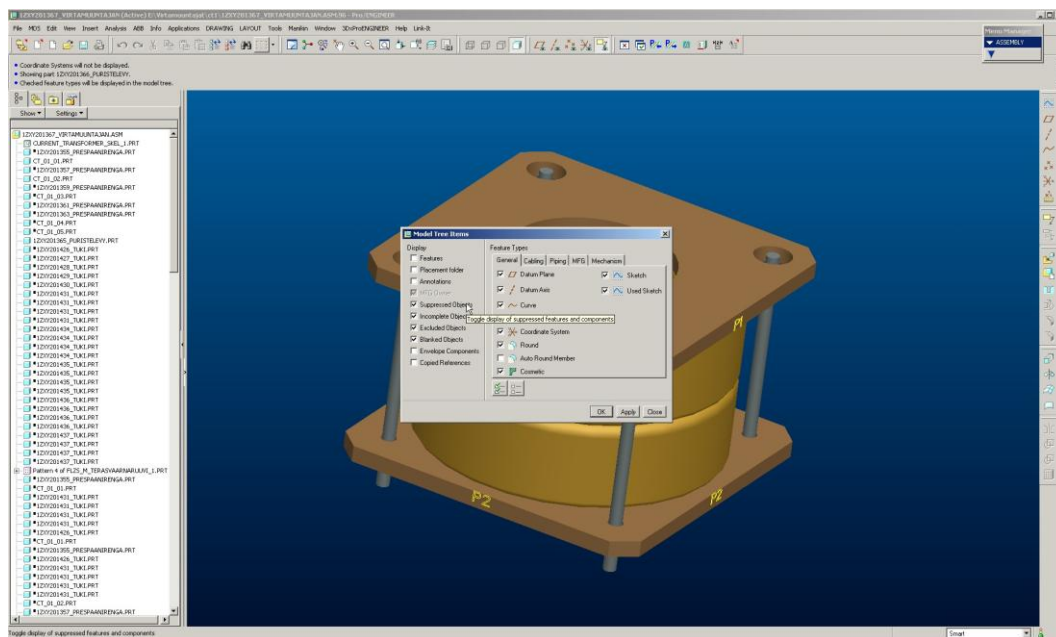
Perinteisten Top-Down-tekniikoiden käyttöä sovellettiin. Kokoonpanossa mallinnettiin esimerkiksi kierretangot. Mallinnus suoritettiin kuitenkin siten, että osalle syntyneet sidokset viittasivat luurankomallin aputasoihin. Kierretankojen pituus automatisoitiin käyttämällä näitä aputasoja.

### **6.4 Kokoonpanon ohjelmointi**

Osien mallinnuksen jälkeen aloitettiin kokoonpanon rakentaminen. Jokainen mallinnettu osa tuotiin vuorollaan kokoonpanoon ja paikoitettiin sille luotuun luurankomallin koordinaatistoon. Tieto jokaisen osan lisäämisestä tallentuu kokoonpanon ohjelmarakenteeseen. Ohjelmarakennetta voidaan muokata kuten mitä tahansa ohjelmoitua koodia.

Komponentin lisäys näkyy kokoonpanon ohjelmarakenteessa ADD-käskynä ja sitä seuraavana tietona lisäystä komponentista. Käsky päättyy END ADD-toiminnolla. ADD-käskyn toteutumista säädeltiin ehdoilla, joilla haluttu toiminta

pystyttiin toteuttamaan (Liite 3.). Komponentit joiden ADD-käsäy ei toteudu, tukahdutetaan mallista. Tukahdutetut komponentit säilyvät osana kokoonpanoa, mutta ne eivät näy itse mallissa tai piirustuksien osaluetteloissa. Tukahdutetut komponentit voidaan ottaa näkyviin kokoonpanon mallipuuhan, josta ne voidaan myös palauttaa (kuva 9.).



**Kuva 9.** Kokoonpanon mallipuu.

Ohjelmarakenteen muokkaaminen oli loogisten funktioiden kirjoittamista. Apuna ei käytetty loogisia kytkentäkaavioita vaan funktiot luotiin ajatustyön ja luonnoksien avulla. Jälkeenpäin ajateltuna loogisten kytkentäkaavioiden käyttö ohjelmoinnin apuna olisi tuonut suurta hyötyä. Useiden komponenttien lisäämiseen vaikutti monenkin muuttujan arvot, eikä jokaista muuttujaa osattu aluksi huomioida. Ohjelmoinnin yhteydessä huomattiin myös että loogisia parametreja tarvittiin lisää apumuuttujiksi. Esimerkiksi kopiointi-ominaisuuden vaatimat ehdot tarvitsivat apumuuttujia. Kopiointi-ominaisuudella mahdollistettiin useamman samanlaisen virtamuuntajan lisääminen kokoonpanoon.

## 6.5 Testaukset

Ohjelmoinnin aikana suoritettiin useita testauksia. Testauksien jatkuva suorittaminen helpotti virheiden ja vikatilanteiden ratkomista. Ilmenneet virheet voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin: ohjelmavirhe ja looginen virhe. Ohjelmavirheellä tarkoitetaan virheellisesti kirjoitettua koodia. Virheellisesti kirjoitettu koodi johtaa siihen että ohjelma ei toimi. ProE ilmoittaa virheestä. Ohjelmavirheiden korjaaminen ei ollut vaikeaa. Kyseessä oli lähes aina kirjoitusvirhe. Loogisella virheellä tarkoitetaan virhettä, joka johtaa ei haluttuun toimintaan. Muuttujan tai apumuuttujan arvo saattaa vaikuttaa useampaankin ehtoon, jolloin ristiriitaisten tilanteiden mahdollisuus on olemassa. Loogisten virheiden korjaaminen oli haastavampaa kuin ohjelmavirheiden korjaaminen.

Kun kokoonpanon ohjelmarakenne saatiin valmiiksi, suoritettiin vielä laajamittaisemmat testaukset. Ohjelmoinnin aikana suoritetuilla testauksilla todettiin aina juuri ohjelmoidun funktion toiminta. Laajamittaisella testauksella varmistettiin että logiikka toimii oikein kaikissa tilanteissa. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että layoutin kautta kokeiltiin jokaisen eri kokoonpanomallipohjan variaation luomista. Laajamittaisessa testauksessa ilmeni vielä joitakin loogisia virheitä, jotka korjattiin. Loogisten kytkentäkaavioiden käyttö olisi vähentänyt syntyneitä virheitä, ja niiden korjaaminen olisi ollut helpompaa.

## 6.6 Piirustusten tuottaminen

Kun layout-ohjattu kokoonpanomalli todettiin toimivaksi, luotiin osista piirustukset. Piirustuksien luontia varten kokoonpano ja sen osat muokattiin yleisimmät virtamuuntaja-asennukset täyttävään muotoon. Tämä tehtiin sen vuoksi, jotta piirustuksissa käytetyt mittakaavat olisivat sopivat mahdollisimman useissa tilanteissa. Piirustuksien mitoituksessa käytettiin hyödyksi luonnos-viivoja. Mitat kiinnitettiin luonnos-viivoihin, joita lopullisissa piirustuksissa ei näy. Luonnos-viivojen käyttötarkoitus on piirustusten siistiminen. Mitat tai osapallot saadaan viivoihin kiinnittämällä kulkemaan samalla linjalla. Yleensä luonnos-viivat määritellään tietylle etäisyydelle koko kuvannosta. Ne voidaan myös määritellä tietylle etäisyydelle kuvantojen osien geometriasta. Työssä



käytettiin jälkimmäistä tapaa. Kun mitat oli kiinnitetty luonnos-viivoihin ja viivojen etäisyydet määritetty osien pysyvästä geometriasta, olivat mitat osien koosta riippumatta aina siistissä järjestyksessä. Jokaisen virtamuuntajamallipohjan variaation piirustuksien tuottaminen saatiin tällä tavoin automatisoitua.

## **7 OHJEEN KIRJOITTAMISESTA**

Ohje voi olla esimerkiksi laitteen tai ohjelman käyttöohje. Se voi olla menettelytapaohje, jolla ohjeistetaan tai määrätään miten jokin asia tulee hoitaa. Tässä työssä perehdyttiin käyttöohjeiden ongelmiin sekä hyvän käyttöohjeen rakenteeseen. /4/

### **7.1 Käyttöohjeiden ongelmat**

Käyttöohjeiden suurin ongelma on se, että niitä ei lueta. Yksi syy tähän on se, että käyttöohjeet ovat useasti liian laajoja, joista tietyn tiedon etsiminen ei onnistu nopeasti. Toinen ongelma on se, että jos jokin asia voidaan ymmärtää väärin, se useasti ymmärretään väärin. Nämä ovat asioita, jotka täytyy ottaa huomioon ohjetta kirjoittaessa. Kolmas käyttöohjeiden kirjoittamiseen liittyvä ongelma on se, että kirjoittaja saattaa tuntea asian liian hyvin. Kun kirjoittaja tuntee asian toimintaperiaatteen ja yksityiskohdat perusteellisesti, saattaa ohje jäädä pinnalliseksi. Hyvä käyttöohje ei ole liian laaja, eikä myöskään liian suppea. /4/ /5/

### **7.2 Käyttöohjeen rakenne**

Käyttöohjeen alussa tulee tuoda selkeästi esiin mitä ohje koskee ja kenelle se on tarkoitettu. Ohjetta kirjoittaessa tulee muistaa että ohjeen tehtävä ei ole tuotteen mainostaminen. Tekstin tulee olla asiallista eikä toimintoja esittäessä tule korostaa niiden hyvyttä. Ohjeen kirjoittamisessa on hyvä noudattaa periaatetta, että olennaisin kerrotaan ensin.

Ohjeisiin liittyy useasti ehtoja. Ehdot kertovat milloin jotkin asiat on tehtävä. Tällaiset ehdot on pyrittävä esittämään niin selkeästi ja täsmällisesti, että lukija pystyy helposti päättämään toteutuuko ehto hänen kohdallaan. Ehto voi olla myös käyttäjän toiveista riippuva. Tietokoneohjelmaa voi esimerkiksi käyttää useisiin eri tarkoituksiin. Tällöin osa ohjelman käytön ohjeista riippuu siitä, mitä käyttäjät mahdollisesti haluavat tehdä. Jos tällaisiin asioihin liittyvät ohjeet ovat laajoja, tulee kustakin aiheesta luoda oma lukunsa, jonka otsikko kertoo, mitä aihepiiriä käsitellään. Ennen näitä valinnaisia lukuja on hyvä kirjoittaa lyhyt

johdanto, jossa toimintoja ja mahdollisuuksia luetellaan ja kerrotaan, että niitä kuvataan omissa luvuissa. Tällaisissa ohjeissa sisällysluettelon ja tiedon jäljitettävyyden merkitys on suuri. Jos käyttäjä haluaa ohjeistusta tietystä toiminnasta, tulee se olla nopeasti löydettävissä.

Hyvä käyttöohje auttaa käyttäjää ymmärtämään tuotteen toimintaperiaatteen. Se sisältää sisällysluettelon, selkeät väliotsikot, vianmääritysosan, pikaohjeen, termien ja symbolien selitykset, kuvituksen sekä asiahakemiston. Käyttöohjeen visuaalinen ilme on myös tärkeä. Se motivoi käyttäjää sekä luo ohjeesta selkeämmän kokonaisuuden. Keinoja hyvän visuaalisen ilmeen luomiseen on monia. Kuvien ja tekstien yhteistyö toimii pelkkää tekstiä paremmin. Avainsanoja korostamalla ja hyvillä kirjasinvalinnoilla ohjeesta saadaan miellyttävämpi kokonaisuus. Havainnolliset sekä numeroidut otsikot ja väliotsikot selkeyttävät ohjetta. /4/ /5/ /7/

## **8 OHJEEN KIRJOITTAMINEN**

Työn suorituksena tuotettu ohje sisältää niin menettelytapaohjeisuuden, että käyttöohjeisuuden. Menettelytapaohjeella pyritään yhtenäistämään virtamuuntajakokoonpanojen asennuksia. Käyttöohjeisuudessa on puolestaan kuvattu miten layout ohjattu kokoonpanomalli toimii.

### **8.1 Ohjeen sisältö ja rakenne**

Ohjeen sisältö ja rakenne luotiin hyvän käyttöohjeen ominaisuuksien mukaisesti. Ohjeen alussa on esittely osuus, jossa kerrotaan kenelle ohje on tarkoitettu. Esittely osuutta seuraa sisällysluettelo. Ensimmäisenä ohjeen osana on menettelytapaosuus. Tätä osuutta seuraa layoutin toimintaperiaatteen esittely, jossa kerrotaan lyhyesti ja ytimekkäästi päätoimintaperiaate. Toimintaperiaatteen selostuksen jälkeen keskitytään layoutin ominaisuuksiin johdonmukaisessa järjestyksessä. Ohjeen loppuun on koottu esimerkkien avulla huomioitavia asioita. Erillistä vianmääritysosiota ohjeeseen ei laadittu, sillä testauksien jälkeen layout toimi moitteettomasti.

#### **8.1.1 Menettelytapaosuus**

Menettelytapaosuuteen liittyy ehtoja. Ehdot on kirjoitettu yksiselitteisinä ja käskevään muotoon. Esimerkki eristeosien käytön ohjeistuksesta: ”Kun virtamuuntajaa ei ole eristetty kreppipaperilla, käytä prespaanirenkaita virtamuuntajien välissä.” Menettelytapaosuudessa ohjeistetaan asioita joiden suunnittelussa oli enemmän eroavaisuuksia. Eroavaisuudet selvisivät työn alkuvaiheessa suoritettujen tarvekartoituksen yhteydessä. Visuaalista ilmettä parannettiin havainnollistavilla kuvilla sekä painottamalla ohjeistuksen kannalta tärkeitä sanoja.

#### **8.1.2 Käyttöohjeisuus**

Ohje luotiin Microsoft Officen PowerPointilla. Käyttöohjeisuudessa selitettiin ja ohjeistettiin jokaisen layoutin valinnan käyttö. Valintojen ohjeistuksessa noudatettiin layoutin järjestystä ja jokaisen valinnan ohjeistus sijoitettiin omalle

PowerPointin kalvolle. Ohjeistus sidottiin kuviin, joilla saatiin havainnollistettua toimintaa selittävä teksti.

## **8.2 Käyttöohjeen visuaalinen ilme**

Käyttöohjeen visuaalinen rakenne suunniteltiin huolella. Visuaalisuus tekee ohjeesta mielekkäämpää luettavaa. Lisäksi visuaalisin keinoin pystytään selkeyttämään ohjetta hyvinkin paljon.

Yhtenä visuaalisen vaikuttamisen keinona käytettiin värikoodausta (Liite 4.). Layoutin eri osat jaettiin neljään eri ryhmään, joihin viitattiin eri väreillä. Layoutin parametreista kerrottaessa, voi parametrin tunnistaa tekstin keskeltä sen vihreästä väristä. Värikoodaus toteutettiin toistensa kanssa hyvin toimivilla väreillä. Tällä tavoin ohje ei ainoastaan selkeytynyt, vaan myös sen visuaalinen rakenne parani.

Värikoodauksen lisäksi käytettiin hyödyksi numerointia. ProE:ssä jokainen layoutin valinta numeroitiin. Käyttöohjeen puolella valinnat numeroitiin samalla tavalla. Loogisen numeroinnin avulla käyttäjä pystyy hakemaan tietoja haluamastaan ominaisuudesta nopeasti.

## 9 TULOKSET

Työn tuloksena syntyi layout-ohjattu virtamuuntajakokoonpanojen 3D-mallipohja sekä käyttöohje niin layoutin käytöstä kuin virtamuuntajakokoonpanojen suunnittelusta. Kokoonpanomallipohja on ollut käytössä nyt kuukauden ja palaute on ollut positiivista.

Työn yksi tavoite oli suunnittelun läpimenoaikojen lyhentäminen. Kuluneen kuukauden ajalta suunnittelun läpimenoaikoja ei ole vielä tutkittu. Uskoisin kuitenkin että monimutkaisemmissa erikoismuuntajissa suunnittelu-aika tulee lyhenemään noin 4-8 tuntia.

Suunnittelun läpimenoaikojen lyhentämisen lisäksi, tavoitteena oli virtamuuntajien asennuksien suunnittelun vakioiminen. Vakiodut ratkaisut tuotettiin työnsuorituksen aikana ja ne otettiin epävirallisesti käyttöön jo ennen ohjeen valmistumista.

Layoutista on saatu myös yleistä positiivista palautetta liittyen sen käytön helppouteen ja mielekkyyteen, verrattuna vanhan mallipohjan käyttöön. Vaikka suunnitteluajat eivät merkittävästi tulisi lyhenemään, virtamuuntaja-layout on ainakin parantanut työn mielekkyyttä sekä vakioinut virtamuuntajakokoonpanojen suunnittelua.

## 10 YHTEENVETO

Aihe tähän opinnäytetyöhön saatiin ABB:n Vaasan muuntajatehtaan mekaanisesta rakennesuunnittelusta, jossa työskentelin aiemmin harjoittelijana. Työ toteutettiin pääasiassa Pro ENGINEER Wildfire 4.0-ohjelmistoa käyttäen. Työ sisälsi 3D-mallinnusta, ohjelmointia, käyttöohjeen kirjoittamista sekä kehitystoiminnalle ominaisten työkalujen käyttöä.

Työ aloitettiin tarvekartoituksella, jonka tuloksien avulla määriteltiin tavoiteltava lopputulos tarkemmin. Työn tavoitteena oli rakentaa layout-ohjattu virtamuuntajien 3D-kokoonpanomalli, jolla pystytään tuottamaan yleisimpien virtamuuntaja-asennuksien 3D-mallit sekä piirustukset. Tarvekartoituksen tuloksien perusteella layoutille asetettiin vaatimukset. Valmis layout täyttää sille asetetut vaatimukset. Myös osa toivotuista ominaisuuksista, joita ei asetettu vaatimuksiksi, toteutettiin.

Tarvekartoitusten tuloksien perusteella työhön liitettiin myös käyttöohjeen kirjoittaminen. Ohje kirjoitettiin englanniksi, mikä helpottaa layoutin mahdollista käyttöönottoa ABB:n muilla muuntajatehtailla. Käyttöohjeella myös vakioitiin osaltaan virtamuuntaja-asennuksien suunnittelua. Ohjeen kirjoituksessa kiinnitettiin huomiota ohjeen tehokkaaseen rakenteeseen sekä selkeään ja näyttävään ulkoasuun.

Virtamuuntaja-layoutin kokoonpanomalli suunniteltiin siten, että sen liittäminen muihin muuntajien suunnittelussa käytettäviin layouteihin on mahdollista. Sen liittäminen osaksi ylemmän tason layoutia, täydentäisi muuntajien kokoonpanomallipohjia ja nopeuttaisi suunnittelun läpimenoa entisestään. Virtamuuntaja-layoutilla pystytään luomaan yleisimpien virtamuuntaja-asennuksien kokoonpanomallit. Layoutin kehittämisellä voitaisiin mahdollistaa myös erikoisempien virtamuuntaja-asennuksien kokoonpanomallien sekä piirustusten luominen.

## LÄHDELUETTELO

/1/ ABB lyhyesti. [viitattu 18.4.2011] Saatavilla internetissä:  
<URL:<http://www.abb.fi/cawp/fiabb251/657dfdcf6e344cc7c1256b20003149ae.aspx>>

/2/ ABB tänään. ABB:n sisäinen powerpoint-esitys yhtiön toiminnasta ja avainluvista.

/3/ Energinen elinkeinoelämä. [viitattu 16.4.2011] Saatavilla internetissä:  
<URL:<http://www.vasek.fi/energinen-elinkeinoelama/>>

/4/ Korpeja, Jukka (1996). Ohjeen kirjoittaminen. [viitattu 17.4.2011] Saatavilla internetissä: <URL: <http://www.cs.tut.fi/~jkorpela/kirj/7.7.html>>

/5/ Melakoski, Suvi (2009). Käyttöohjeen kirjoittaminen. [viitattu 17.4.2011] Saatavilla internetissä: <URL: <http://www.cs.tut.fi/~projekti/dokumentit/SMV-kayttoohje-24112009.pdf>>

/6/ Muuntaja tekniikan perusteet. ABB:n sisäinen koulutusmateriaali

/7/ Nykänen, Olli (2002). Toimivaa tekstiä. Opas tekniikasta kirjoittaville. Helsinki. Painotalo Mictor.

/8/ Rantala, Pekka (1992). Tietokonetekniikka osa 1. Digitaalitekniikka. Oulu. Tietokotka.

/9/ Remmers, Victor. Top-Down design philosophy. PTC. [viitattu 14.04.2011] Saatavilla internetissä:  
<URL:[http://www.ptcuser.nl/conf\\_06/presentations/T%20&%20T%20Top-Down%20Design.ppt](http://www.ptcuser.nl/conf_06/presentations/T%20&%20T%20Top-Down%20Design.ppt)>

/10/ Top-Down design tutorials. ProE Tutorials. [viitattu 14.04.2011] Saatavilla internetissä: <URL:[http://www.proetutorials.com/tutorials\\_tdd/Tutorials.htm](http://www.proetutorials.com/tutorials_tdd/Tutorials.htm)>

/11/ Transformer handbook (2004). Zurich, Sveitsi. ABB.



/12/ Välimaa, Veikko & Kankkunen, Martti & Lagerroos, Olle & Lehtinen, Markku (1994). Tuotekehitys. Asiakastarpeesta tuotteeksi. Helsinki. Painatuskeskus Oy.

/13/ Yhden miehen unelmasta kasvoi menestyvä sähkökonetehtas. ABB:n sisäisen verkon artikkeli Gottfrid Strömbergistä.

## **LIITE 1**

# **PUHTAAKSIIKIRJOITETTU SPESIFIKAATIO LAYOUTIN OMINAISUUKSISTA**

### **Perusvalinnat**

- Asennustapa (kiinni kanteen, irti kannesta tai erillisellä kiinnittimellä)
- Puristelevyjen määrä (molemmissa päissä tai vain toisessa päässä)
- Kiinnitysreiät erillistä kiinnitystä varten
- Kiinnitysosien materiaali (lasikuitu tai teräs)
- Kierretankojen pituuden automaattinen tai manuaalinen syöttö
- Kreppipaperiputkien lisääminen
- Aluslaattojen ja muttereiden lisääminen
- Virtamuuntajien määrä (1-5 kappaletta)

### **Virtamuuntajien valinnat (samat valinnat viidelle eri virtamuuntajalle)**

- Tuotekoodi
- Eristysosien lisääminen
- Sisä- ja ulkohalkaisijat
- Korkeus ja paino
- Tukien lisääminen ja niiden muoto sekä paksuus
- Virtamuuntajan kopiointi (virtamuuntajien 1 ja 2 ollessa samoja)

### **Puristelevyjen valinnat**

- Levyjen paksuus, pituus ja leveys
- Uran lisääminen koestuskäämi-sovellusta varten
- Kierretankojen reikäväli pituus- ja leveyssuunnassa
- Keskireiän sisähalkaisija
- Pidennyksen lisääminen erilliseen kiinnittimeen asennusta varten
- Viisteet

## LIITE 2

### OTE LUURANKOMALLIN RELAATIOISTA

```
IF PRESS_PLATE == TRUE
    D131 = PRESS_PLATE1_THICK
ENDIF

IF PRESS_PLATE == FALSE & PRESP1 == TRUE & CURR_TRANS1 == TRUE
    D131 = PRES_RING_THICK
ENDIF

IF PRESS_PLATE == FALSE & (PRESP1 == FALSE | CURR_TRANS1 ==
FALSE)
    D131 = 0
ENDIF

IF CURR_TRANS1 == TRUE

    D137 = CURR_TRANS1_HEIGHT
ELSE
    D137 = 0
ENDIF

IF CURR_TRANS2 == TRUE & REPEAT_2 == 0
    D149 = CURR_TRANS2_HEIGHT
ENDIF

IF CURR_TRANS2 == TRUE & REPEAT_2 == 0 & PRESP2 == TRUE
    D143 = PRES_RING_THICK
ENDIF

IF CURR_TRANS2 == TRUE & REPEAT_2 == 1
    D149 = CURR_TRANS1_HEIGHT
ENDIF

IF CURR_TRANS2 == TRUE & REPEAT_2 == 1 & PRESP1 == TRUE &
PRESP2 == TRUE
    D143 = PRES_RING_THICK
ENDIF

IF CURR_TRANS2 == FALSE
    D149 = 0
ENDIF

IF (PRESP2 == FALSE & REPEAT_2 == 0) | CURR_TRANS2 == FALSE |
(PRESP1 == FALSE \
& REPEAT_2 == 1)
    D143 = 0
ENDIF
```

**OTE**                      **MUOKATUSTA**                      **KOKOONPANON**  
**OHJELMARAKENTEESTA**

```
IF CURR_TRANS4 == TRUE & REPEAT_4 == 3 & PRESP3 == TRUE &  
PRESP4 == TRUE
```

```
  ADD PART 1ZXY201359_PRESPAANIRENGA  
  INTERNAL COMPONENT ID 294  
  PARENTS = 34(#1)  
  END ADD
```

```
END IF
```

```
IF CURR_TRANS4 == TRUE & REPEAT_4 == 3 & BRACKET3 == 1
```

```
  ADD PART 1ZXY201428_TUKI  
  INTERNAL COMPONENT ID 295  
  PARENTS = 34(#1)  
  END ADD
```

```
END IF
```

```
IF CURR_TRANS4 == TRUE & REPEAT_4 == 3 & BRACKET3 == 3
```

```
  IF LOWER_BRACKET3 == FALSE  
    ADD PART 1ZXY201435_TUKI  
    INTERNAL COMPONENT ID 296  
    PARENTS = 34(#1)  
    END ADD
```

```
    ADD PART 1ZXY201435_TUKI  
    INTERNAL COMPONENT ID 298  
    PARENTS = 34(#1)  
    END ADD
```

```
  END IF
```

```
  ADD PART 1ZXY201435_TUKI  
  INTERNAL COMPONENT ID 297  
  PARENTS = 34(#1)  
  END ADD
```

```
  ADD PART 1ZXY201435_TUKI  
  INTERNAL COMPONENT ID 299  
  PARENTS = 34(#1)  
  END ADD
```

```
END IF
```

```
IF CURR_TRANS5 == TRUE & REPEAT_5 == 1
```

```
  ADD PART CT_01_01  
  INTERNAL COMPONENT ID 300  
  PARENTS = 34(#1)  
  END ADD
```

```
END IF
```

IF CURR\_TRANS5 == TRUE & REPEAT\_5 == 1 & PRESP1 == TRUE &  
PRESP5 == TRUE

ADD PART 1ZXY201355\_PRESPAANIRENGA

INTERNAL COMPONENT ID 301

PARENTS = 34(#1)

END ADD

END IF

IF CURR\_TRANS5 == TRUE & REPEAT\_5 == 2

ADD PART CT\_01\_02

INTERNAL COMPONENT ID 307

PARENTS = 34(#1)

END ADD

END IF

IF CURR\_TRANS5 == TRUE & REPEAT\_5 == 3

ADD PART CT\_01\_03

INTERNAL COMPONENT ID 314

PARENTS = 34(#1)

END ADD

END IF

IF CURR\_TRANS5 == TRUE & REPEAT\_5 == 4

ADD PART CT\_01\_04

INTERNAL COMPONENT ID 323

PARENTS = 34(#1)

END ADD

END IF

ADD PART 1ZXY201366\_PURISTELEVV

INTERNAL COMPONENT ID 50

PARENTS = 34(#1)

END ADD

IF ATTACH == 2

ADD FEATURE

INTERNAL FEATURE ID 238

NO. ELEMENT NAME INFO

STATUS

-----

-----

1 Type

Reference

Defined

LEADER OF A (2 X 2) REF VARYING PATTERN

END ADD

END IF

**OTTEITA KÄYTTÖOHJEESTA**

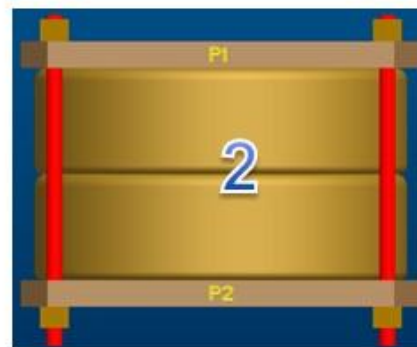
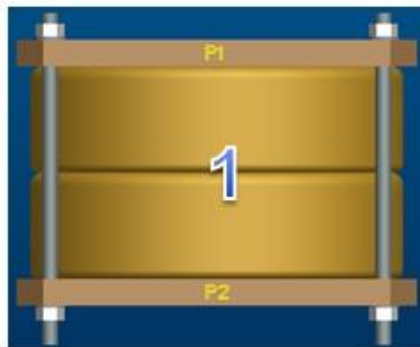
## 4 Layout parameters

- In this section every definable parameter is explained
- The layout is divided in fields
  - The references to these fields are painted in purple
- There are parameters in the layout
  - The references to the parameters are painted in green
- There are values of the parameters in the layout
  - The references to these values are painted in red
- In this section there are pinpoints for pictures
  - The references to these pinpoints are painted in blue

## 4 Layout parameters

### General information field

- 1.1.5. Material of fittings
  - Choose 1 or 2
  - 1 for steel fittings (1)
  - 2 for fiberglass fittings (2)
  - The material of fittings covers the material of threaded rods, nuts and washers



## 4 Layout parameters

### General information field

- 1.1.6. Size of threaded rods
  - Choose 1 or 2
  - 1 for M12-size rods
  - 2 for M16-size rods
  - NOTE: Through this option the **size** of the **holes (1)** in the **laminated plates** and the **size** of the **holes (2)** in **supports** is also defined

